

## 明 細 書

### SOIウェーハおよびその製造方法

#### 技術分野

- [0001] この発明は、SOIウェーハおよびその製造方法、詳しくは活性層の金属不純物による汚染度の低減が図れ、支持用ウェーハのスリップの発生を抑制する十分な強度を有し、薄膜の活性層のLPD評価の精度向上が図れる貼り合わせ法を利用したSOIウェーハを安価に製造する技術に関する。

#### 背景技術

- [0002] 近年、デバイスの高集積化などに伴い、活性層の薄膜化(0.10  $\mu$ m未満)が進んでいる。これを実現するSOI(Silicon On Insulator)構造を有した半導体基板を製造する方法として、スマートカット法が開発されている。

これは、酸化膜が形成され、水素を所定深さ位置にイオン注入した活性層用ウェーハと、支持用ウェーハとを室温で貼り合わせ、その後、得られた貼り合わせウェーハを熱処理炉に挿入して500℃、30分間熱処理し、そのイオン注入領域から活性層用ウェーハの一部を剥離し、続いて貼り合わせウェーハに貼り合わせ強度を増強する貼り合わせ熱処理を施す方法である。これにより、支持用ウェーハと活性層との間に埋め込みシリコン酸化膜を介在した貼り合わせSOIウェーハが得られる。貼り合わせ熱処理では、酸素または窒素を雰囲気ガスとする1100℃、2時間の熱処理が施される。

- [0003] ところで、活性層用ウェーハおよび活性層には、水素イオン注入工程および貼り合わせ熱処理工程などの高温プロセスにおいて若干量の金属不純物が混入する。この金属不純物のうちFe、Cuなどは、貼り合わせ後の熱処理時に埋め込みシリコン酸化膜を透過し、支持用ウェーハ内にまで拡散する。そして、この現象を応用し、支持用ウェーハにおいて金属不純物の一部を捕獲する、例えば特許文献1に記載されたIG(Intrinsic Gettering)法が知られている。

- [0004] さらに、近年では、活性層が0.10  $\mu$ m未満(例えば0.02～0.05  $\mu$ m)、埋め込みシリコン酸化膜が0.15  $\mu$ m程度まで薄膜化している。そのため、パーティクルカウンタにより活性層の表面欠陥(COPなど)を測定するLPD(Light Point Defect)

評価時において、マイクロボイドを疑似欠陥として検出するおそれがあった。上記マイクロボイドとは、シリコン酸化膜と支持用ウェーハとの間に存在する微細な空隙(支持用ウェーハの張り合わせ界面に露出したCOPなど)を意味する。このように、マイクロボイドを疑似欠陥として検出するのは、測定用のレーザ光が薄膜の活性層と埋め込みシリコン酸化膜とを透過するためである。その結果、LPD評価の信頼性が低下していた。

このような疑似欠陥の問題を解消するため、例えば特許文献2に記載されたCOPが存在しないシリコンウェーハを利用することが考えられる。

[0005] 特許文献1: 日本国特開平9-326396号公報

特許文献2: 日本国特開平2-267195号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記特許文献1に記載の発明にあつては、支持用ウェーハに比抵抗 $10\ \Omega\text{cm}$ 、酸素濃度 $1 \times 10^{18}\text{atoms/cm}^3$ 程度のn型のシリコンウェーハを用いる。このウェーハをアニールすることにより、酸素析出物を形成し、この析出物より埋め込みシリコン酸化膜を透過したFe、Cuなどの金属不純物を支持用ウェーハ内で捕獲する。その結果、活性層の金属不純物の汚染度を低減させることができる。また、支持用ウェーハの裏面に多結晶シリコンを形成したり、酸化膜直下に高濃度のリン(P)を熱拡散によりドーピングし、析出物と同様のゲッタリング効果を得ることもできる。

しかしながら、貼り合わせ熱処理時には、 $1100^\circ\text{C}$ という高温で熱処理される。そのため、支持用ウェーハの支持側の面にスリップが発生し易かった。これを改善するために貼り合わせウェーハがセラミックス製の環状のサセプタ、または、環状のウェーハ保持部を有するウェーハボートなどのウェーハ支持治具により支持される方法が用いられていた。しかし、このウェーハ支持治具が高価でありコスト的問題が存在していた。

[0007] 上記特許文献2に記載の発明にあつては、CZ法における引き上げ速度を $0.8\text{mm/min}$ 以下としてシリコン単結晶インゴットを育成する。この場合、シリコン引き上げ速度および引き上げの熱的環境を最適化して育成することで、引き上げ界面で取り込

まれる格子間シリコンと空孔が対消滅する。これにより、空孔が凝縮して形成されるCOPが存在できなくなり、COPフリーのシリコン単結晶インゴットを得ることができる。このようにCOPが存在しないシリコンウェーハを支持用ウェーハに用いれば、マイクロボイドは発生しなくなる。

しかしながら、低速引き上げウェーハは引き上げ速度1.0mm/min以上の高速引き上げウェーハに比べて引き上げに長時間を要し、歩留りも小さくなる。その結果、貼り合わせSOI基板の製造コストが高騰するおそれがあった。

[0008] この発明は、活性層の金属不純物による汚染度が低減され、支持用ウェーハのスリップの発生を抑制することができ、薄膜の活性層のLPD評価の信頼性も高まる貼り合わせウェーハを、スマートカット法を採用して安価に製造することができるSOIウェーハおよびその製造方法を提供することを、その目的としている。

また、この発明は、基板製造工程中、支持用ウェーハの裏面からのボロンのオートドーピングを抑制することができるSOIウェーハおよびその製造方法を提供することを、その目的としている。

#### 課題を解決するための手段

[0009] 第1の発明は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、上記支持用ウェーハには、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンが含有されたSOIウェーハの製造方法である。

[0010] 第1の発明によれば、活性層用ウェーハまたは活性層に含まれる金属不純物のうち、拡散により埋め込み絶縁膜を透過可能なFe, Cuなどが、埋め込み絶縁膜を介して支持用ウェーハ中のボロンに捕獲される。また、支持用ウェーハに存在し、埋め込み絶縁膜を透過して活性層用ウェーハまたは活性層に移動可能なFe, Cuなども、同様にボロンに捕獲される。もちろん、支持用ウェーハ中の他の金属不純物もボロンに捕獲される。その結果、活性層の金属不純物による汚染度の低減を図ることができる。

[0011] また、インゴットの結晶中には、不純物であるボロンが高濃度に存在する。そのため

、支持用ウェーハの強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハのスリップの発生を防止することができる。支持用ウェーハのスリップの発生の防止効果は、直径が300mm以上の貼り合わせウェーハにおいて重要視される。

しかも、支持用ウェーハ用のインゴット(例えばシリコン単結晶インゴット)の引き上げ時、結晶中にはボロンが $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上含まれている。このレベルまでボロンが添加されると、インゴットの引き上げ時、例えば、引き上げ速度を0.5mm/min以下のような低速としなくても、結晶中のOSF(Oxidation Induced Stacking Fault)リングが収縮する。ボロンの原子半径はシリコンの原子半径よりも小さい。シリコンの原子半径よりも小さい原子半径を有する原子が不純物として導入された際、この不純物の周囲に引張応力が生じるが、格子間シリコンが存在することによりその引張応力が緩和され、系全体のエネルギーを低下させることができる。すなわち、原子半径の小さいボロン原子が導入されると格子間シリコンの平衡濃度が増大し、結果的に、格子間シリコンが過剰な領域の増大、すなわちOSFリングの収縮が発生する。一般に、OSFの内側は空孔過剰領域となり、前述したマイクロボイド、すなわちCOPが存在する。一方、外側は格子間シリコン過剰領域であり、COPが存在しない。よって、OSFリングが完全に収縮したシリコン単結晶インゴットにはCOPが存在しないことになり、この単結晶インゴットをSOI基板として適用することで、COPに起因する疑似欠陥を回避することができる。

[0012] また、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンを含むインゴットをスライスした支持用ウェーハには、上述の通りOSFリングの収縮によりCOP結晶欠陥が存在しない。したがって、例えば活性層と埋め込みシリコン酸化膜とが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する程度まで薄膜化されても、LPD評価時に埋め込み絶縁膜と支持用ウェーハとの間に存在するマイクロボイドを疑似欠陥として検出することがない。その結果、活性層のLPD評価の信頼性を高めることができる。

しかも、上述したように、この発明に係る貼り合わせウェーハは、支持用ウェーハ用のインゴットの引き上げ時、結晶中に $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンを添加するだけで得られる。この引き上げ速度の高いインゴットからスライスされた支持用ウェーハを用いることにより、SOIウェーハを低コストで製造することができる。

[0013] 本発明に係るSOIウェーハを製造する方法は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成する貼り合わせ法である。貼り合わせ法の1つとして、上記貼り合わせウェーハのうちの活性層用ウェーハの一部を研削・研磨して薄膜化することによりSOIウェーハを製造する方法がある。

また、貼り合わせ法には、活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを所定温度に保持して熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離するスマートカット法が含まれている。

活性層用ウェーハの種類としては、例えば単結晶シリコンウェーハ、ゲルマニウムウェーハ、炭化ケイ素ウェーハなどを採用することができる。

絶縁膜としては、例えば酸化膜、窒化膜などを採用することができる。

絶縁膜の厚さは、例えば $0.2\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $0.1\sim0.2\mu\text{m}$ である。

活性層の厚さは限定されない。例えば、厚膜の活性層では $1\sim50\mu\text{m}$ である。薄膜の活性層では $0.01\sim1\mu\text{m}$ である。

[0014] 支持用ウェーハのボロン濃度が $9\times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 未満(比抵抗 $\rho > 10\text{m}\Omega\text{cm}$ )では、スリップの発生の抑制効果が低減する。特に直径300mmのSOIウェーハでは、高価なリング支持ボートを使用しなければ、 $1100^\circ\text{C}$ 以上の貼り合わせでスリップが発生する。支持用ウェーハの好ましいボロン濃度は $1\times 10^{19}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上( $\rho \leq 5\text{m}\Omega\text{cm}$ )である。

[0015] 第2の発明は、第1の発明にあつて、上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離するSOIウェーハの製造方法である。

[0016] イオン注入する元素としては、例えば水素(H)の他、希ガスの元素であるヘリウム(

He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)、ラドン(Rn)などでもよい。これらは単体または化合物でもよい。

イオン注入時の水素または希ガス元素のドーズ量は限定されない。例えば $2 \times 10^{16} \sim 8 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>である。

水素または希ガス元素のイオン注入時の加速電圧は、50keV以下、好ましくは30 keV以下、さらに好ましくは20keV以下である。これら軽元素のイオン注入は、低加速電圧ほど目標深さに軽元素を集中させることができる。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱温度は400℃以上、好ましくは400～700℃、さらに好ましくは450～550℃である。400℃未満では、活性層用ウェーハにイオン注入された軽元素から軽元素バブルを形成することが難しい。また、700℃を超えると、活性層内に酸素析出物が形成されてしまいデバイス特性の低下を招くおそれがある。

[0017] 剥離時の炉内雰囲気は、非酸化性ガス(窒素、アルゴンなどの不活性ガス)の雰囲気でもよい。また、真空中でもよい。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱時間は1分間以上、好ましくは10～60分間である。1分間未満では、貼り合わせウェーハにイオン注入された軽元素をバブル化することが困難になる。

剥離工程後、活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせ熱処理の強度を高める貼り合わせ熱処理を施してもよい。この際の加熱温度は、例えば1100℃、2時間である。熱酸化炉内の雰囲気ガスとしては、酸素などを採用することができる。

[0018] 支持用ウェーハには多量のボロンが存在する。そのため、貼り合わせ後の熱処理時において、活性層用ウェーハまたは活性層へのボロンの拡散によるボロン汚染が考えられる。しかし、例えばシリコン酸化物である絶縁膜(埋め込み絶縁膜)には、シリコンと比較して固溶度が大きい。これにより、支持用ウェーハ中のボロンは、この支持用ウェーハに設けられた絶縁膜に捕獲される。この結果、支持用ウェーハから活性層などへのボロン汚染は抑制される。

[0019] 第3の発明は、第1の発明にあつて、上記SOI層の厚みは、0.10 μm未満であるSOIウェーハの製造方法である。

第4の発明は、第2の発明にあつて、上記SOI層の厚みは、 $0.10\ \mu\text{m}$ 未満であるSOIウェーハの製造方法である。

[0020] 第3の発明、第4の発明によれば、活性層と埋め込みシリコン酸化膜とが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する $0.10\ \mu\text{m}$ 未満のSOI層の厚みにまで薄膜化されても、LPD評価時に埋め込み絶縁膜と支持用ウェーハとの間に存在するマイクロボイドを疑似欠陥として検出することはない。その結果、活性層のLPD評価の信頼性を高めることができる。

[0021] 第5の発明は、第1の発明にあつて、上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成するSOIウェーハの製造方法である。

第6の発明は、第2の発明にあつて、上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成するSOIウェーハの製造方法である。

第7の発明は、第3の発明にあつて、上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成するSOIウェーハの製造方法である。

第8の発明は、第4の発明にあつて、上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成するSOIウェーハの製造方法である。

[0022] 第5～第8の発明のいずれか1つによれば、貼り合わせ後の熱処理時、その熱により支持用ウェーハの裏面付近に存在するボロンが、そのウェーハ裏面から外方拡散しようとする。しかしながら、支持用ウェーハの裏面には、あらかじめ貼り合わせの前にボロンのゲッタリングサイトとなる絶縁膜が形成されている。そのため、支持用ウェーハからのボロンの外方拡散は抑制される。これにより、活性層用ウェーハの表面または活性層の表面へのボロンの回り込みを原因としたオートドーピングを防止することができる。

[0023] 支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に設けられる絶縁膜は、酸化膜でもよいし、窒化膜でもよい。

絶縁膜としては、例えば支持用ウェーハがシリコンウェーハの場合、シリコン酸化膜を採用することができる。

絶縁膜が形成されるのは、支持用ウェーハの裏面だけでもよい。または、支持用ウェーハの表裏両面でもよい。

絶縁膜を形成する時期は、活性層用ウェーハと支持用ウェーハとを貼り合わせる前であれば限定されない。

絶縁膜の厚さは、例えば0.1～0.5  $\mu\text{m}$ である。0.1  $\mu\text{m}$ 未満ではオートドーピング抑制効果が得られない。また、0.5  $\mu\text{m}$ を超えると成膜時間が長くなりコストが高くなる。絶縁膜の好ましい厚さは0.2～0.4  $\mu\text{m}$ である。

例えば、活性層用ウェーハの裏面に設けられた酸化膜は、貼り合わせウェーハの製造後、HF溶液によりエッチングしてもよい。また、酸化膜を残存させたまま出荷してもよい。

[0024] 第9の発明は、第1～第8の発明のいずれか1つであって、上記貼り合わせの前に、水素ガスを含む還元ガス雰囲気中で、上記支持用ウェーハに対して1100℃以上のアニール処理を施すSOIウェーハの製造方法である。

第10の発明は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することにより製造するSOIウェーハであって、貼り合わされた上記支持用ウェーハには、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンが含有され、上記SOI層は、厚みが0.10  $\mu\text{m}$ 未満であるSOIウェーハである。

[0025] 第9の発明によれば、貼り合わせの前に、支持用ウェーハに1100℃以上の水素ガスを含む還元ガス雰囲気でのアニール処理を施す。これにより、支持用ウェーハの表裏両面付近に存在するボロンの外方拡散が促進され、そのウェーハ表裏両面から外方拡散して消失する。その結果、貼り合わせ後の熱処理時、活性層用ウェーハの表面または活性層の表面に対する支持用ウェーハ中のボロンのオートドーピングが防ぎ止される。

[0026] アニール処理の時期は、活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせ前であれば限定されない。



水素を除く還元ガスとしては、例えば一酸化炭素ガス、二酸化硫黄ガスなどを採用することができる。

アニール温度が1100℃未満では、ボロンの拡散係数が小さくなりウェーハ表裏両面付近のボロンが外方拡散されない。貼り合わせウェーハの好ましいアニール温度は1100～1200℃である。

アニール時間は、例えば0.1～5時間である。支持用ウェーハの好ましいアニール時間は0.1～1時間である。

### 発明の効果

[0027] この発明によれば、支持用ウェーハに $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンが含まれている。そのため、貼り合わせ後の熱処理時、活性層用ウェーハまたは活性層に含まれる金属不純物のうち、外方拡散により埋め込み絶縁膜を透過したFe, Cuと、支持用ウェーハ中の金属不純物とが、ゲッターリングサイトとなるボロンに捕獲される。その結果、活性層の金属不純物による汚染度を低減することができる。

[0028] また、インゴットの結晶中にボロンが高濃度に存在するので、支持用ウェーハの強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハのスリップの発生を防止することができる。

さらに、支持用ウェーハに結晶欠陥が存在しないので、活性層と埋め込みシリコン酸化膜とが薄膜化されても、LPD評価時に埋め込み絶縁膜と支持用ウェーハとの間に存在するマイクロボイドを疑似欠陥として検出せず、活性層のLPD評価の信頼性が高まる。

しかも、このような貼り合わせウェーハは、支持用ウェーハ用のインゴットの引き上げ時、結晶中に $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンを添加すれば得られるので、上記効果を有する貼り合わせウェーハを低コストで製造することができる。

[0029] さらに、貼り合わせ工程の前に、支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に酸化膜を形成したので、貼り合わせ後の熱処理時に支持用ウェーハの裏面からのボロンの外方拡散を抑制することができる。その結果、活性層用ウェーハの表面または活性層の表面へのボロンの回り込みを原因としたオートドーピングを防止することができる。

[0030] さらに、貼り合わせの前に、支持用ウェーハに1100℃以上の水素ガスを含む還元

ガス雰囲気でのアニール処理を施すので、支持用ウェーハの表裏両面付近に存在するボロンが外方拡散により消失する。その結果、貼り合わせ後の熱処理時、活性層用ウェーハの表面または活性層の表面へのボロンのオートドーピングを防止することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0031] [図1]この発明の実施例1に係るSOIウェーハの製造方法を示すフローシートである。  
 [図2]この発明の実施例1に係る他のSOIウェーハの製造方法を示すフローシートである。  
 [図3]この発明の実施例1に係るSOIウェーハの製造方法により得られた貼り合わせウェーハのLPD評価試験の状態を示す要部拡大断面図である。  
 [図4]従来手段に係るSOIウェーハの製造方法により得られた貼り合わせウェーハのLPD評価試験の状態を示す要部拡大断面図である。

### 符号の説明

- [0032] 10 活性層用ウェーハ、  
 12a シリコン酸化膜(絶縁膜)、  
 13 活性層、  
 14 水素イオン注入領域(イオン注入領域)、  
 20 支持用ウェーハ、  
 30 貼り合わせウェーハ。

### 発明を実施するための最良の形態

- [0033] 以下、この発明の実施例を図面を参照して説明する。

#### 実施例 1

- [0034] まず、図1のS101工程に示すように、ボロンが $2 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ と低濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度は、 $1.0 \text{ mm/min}$ である。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ $725 \mu\text{m}$ 、直径 $200 \text{ mm}$ 、面方位(100)面、比抵抗約 $10 \Omega \text{ cm}$ 、p型の鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10が得られる。

。

一方、ボロンが $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ と高濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ $725 \mu\text{m}$ 、直径 $200\text{mm}$ 、面方位(100)面、比抵抗約 $8\text{m}\Omega\text{cm}$ 、p型の鏡面仕上げされた支持用ウェーハ20が得られる。

- [0035] その後、図1のS102工程に示すように、活性層用ウェーハ10を熱酸化装置に挿入し、酸素ガス雰囲気中で熱酸化処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10の露出面の全域に、厚さ $0.15 \mu\text{m}$ のシリコン酸化膜12aが形成される。熱処理条件は $1000^\circ\text{C}$ 、7時間である。

次に、図1のS103工程に示すように、活性層用ウェーハ10の鏡面仕上げされた表面から所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、 $50\text{keV}$ の加速電圧で水素をイオン注入する。これにより、活性層用ウェーハ10に、水素イオン注入領域14が形成される。このときのドーズ量は、 $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$ である。

- [0036] 続いて、図1のS104工程に示すように、活性層用ウェーハ10の表面と支持用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜12aを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10、20を貼り合わせて貼り合わせウェーハ30を作製する。このとき、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20とが、シリコン酸化膜12aを介して接合し、この接合部分のシリコン酸化膜12aが埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)12cとなる。また、貼り合わせ工程において、貼り合わせの強度を向上させ、ボイドのような貼り合わせ欠陥を低減するために、酸素プラズマ処理(酸素プラズマによる表面活性化処理)後に貼り合わせをしてもよい。

- [0037] それから、図1のS105工程に示すように、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離熱処理装置に挿入し、 $500^\circ\text{C}$ の炉内温度、窒素ガスの雰囲気中で熱処理を施す。熱処理時間は30分間である。この熱処理により、支持用ウェーハ20の貼り合わせ界面に活性層13を残し、活性層用ウェーハ10が水素イオン注入領域14から剥離する。剥離された活性層用ウェーハ10の残部は、支持用ウェーハ20として再使用することができる。

[0038] 図1のS106工程に示すように、剥離後、貼り合わせウェーハ30に対して、窒素ガスの雰囲気中で1150℃、2時間の貼り合わせ熱処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20との貼り合わせ強度が増強される。

次いで、活性層13の表面に研磨装置による研磨を施すとともに、俗に犠牲酸化と称される処理を活性層13の表面に施す。犠牲酸化とは、まず貼り合わせウェーハ30を熱酸化処理炉に挿入し、酸化性ガスの雰囲気中で貼り合わせウェーハ30を1000℃、7時間熱処理する。これにより、水素イオン注入時のダメージ部分を含めて活性層13の表面に厚さ0.15  $\mu\text{m}$ の図示しないシリコン酸化膜が形成される。その後、浸漬法により、活性層13の表面にHF洗浄液を接触させ、このシリコン酸化膜を溶失させる。その際、剥離時に面あれした活性層13の表層部分がシリコン酸化膜とともに除去される。

こうして、図1のS107工程に示すように、スマートカット法による貼り合わせSOIウェーハ11が作製される。

[0039] このように、支持用ウェーハ20用のシリコン単結晶インゴットの引き上げ時、結晶中にはボロンが $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ と高濃度に含まれている。そのため、引き上げ速度を0.5mm/min以下に低速化することなく、1.0mm/minの高速度で引き上げても引き上げ結晶中のOSFリングは収縮する。その結果、結晶欠陥が存在しないインゴット、ひいては結晶欠陥が存在しない支持用ウェーハ20を得ることができる。

これにより、高スループットで、歩留りも大きな支持用ウェーハ20を作製することができる。しかも、実施例1では支持用ウェーハ20用のシリコン単結晶インゴット中のボロン濃度を増大させる他は、公知のスマートカット法に則して作製すればよい。その結果、上記効果を有する貼り合わせSOIウェーハ11を低コストで製造することができる。

[0040] 貼り合わせ後の熱処理時には、活性層用ウェーハ10または活性層13に含まれる金属不純物のうち、拡散により埋め込みシリコン酸化膜12cを透過可能なFe、Cuなどの他、支持用ウェーハ20中の金属不純物も、ボロンに捕獲される。このように、支持用ウェーハ20にはゲッタリングサイトとなるボロンが多量に存在することから、活性層用ウェーハ10または活性層13に含まれる一部の金属不純物に加えて支持用ウェー

ーハ20に含まれる金属不純物も十分に捕獲することができる。その結果、活性層13の金属不純物による汚染度の低減を図ることができる。

[0041] また、支持用ウェーハ20には、このように不純物であるボロンが高濃度に存在している。そのため、支持用ウェーハ20の強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハ20のスリップの発生を防止することができる。

しかも、ボロンを $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ まで高濃度に含む支持用ウェーハ20には、結晶欠陥が存在しない。したがって、図3に示すように、例えば活性層13と埋め込みシリコン酸化膜12cとが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する程度に薄膜化されても、従来のように埋め込みシリコン酸化膜12cと支持用ウェーハ20との間に、マイクロボイド40を形成することはない。そのため、図4に示すように、LPD評価時において、マイクロボイド40を疑似欠陥として検出することはない。その結果、活性層13のLPD評価の信頼性を高めることができる。

[0042] また、図2のS204工程に示すように、貼り合わせ工程の前に、支持用ウェーハ20に例えばCVD装置によりシリコン酸化膜12bを形成し、支持用ウェーハ20のボロンが、貼り合わせ熱処理工程以降の熱処理時に、活性層用ウェーハ20の表面または活性層13の表面にオートドーピングされるのを抑制するようにしてもよい。

すなわち、貼り合わせ後の熱処理時には、その熱により支持用ウェーハ20の裏面からボロンが外方拡散しようとする。しかしながら、支持用ウェーハ20の裏面には、予めボロンのゲッタリングサイトとなるシリコン酸化膜12bが形成されている。そのため、支持用ウェーハ20の裏面からのボロンの外方拡散が抑制される。その結果、活性層用ウェーハ10の表面または活性層13の表面へのボロンの回り込みを原因としたオートドーピングが防止される。

なお、図2に示すSOIウェーハの製造工程は、図1に示すSOIウェーハの製造工程にS204工程を追加している。

[0043] さらに、オートドーピングを防止する他の手段として、例えば、図1のS104工程に示す貼り合わせの前に、水素ガス雰囲気、支持用ウェーハ20に対して $1100^\circ\text{C}$ 以上のアニール処理を施してもよい。なお、水素ガスに代えて、他の還元ガス雰囲気でもよい。これにより、支持用ウェーハ20の表裏両面付近のボロンの外方拡散が促進さ

れ、支持用ウェーハ20に含まれたボロンがそのウェーハ表裏両面から外方拡散し、消失する。その結果、貼り合わせ後の熱処理時のオートドーピングを防止することができる。

[0044] ここで、実際に本発明法および従来法について、貼り合わせSOIウェーハにおける支持用ウェーハの裏面のスリップの有無と、活性層面内のLPDの分布とについて、比較調査した結果を報告する。

スリップの評価方法としては、X線トポグラフ(XRT)法を採用した。また、LPDの分布の評価としては、レーザー装置による欠陥評価を採用した。その結果を表1に示す。なお、表中のスリップ発生の有無は、観察されるスリップ長が20mm未満を○とし、スリップ長20mm以上を×とした。

[0045] [表1]

|      | 支持用ウェーハの<br>ボロン濃度  | LPDの有無         | スリップ発生<br>の有無 | SOI層のLPD面内分布                    |
|------|--|----------------|---------------|---------------------------------|
| 比較例1 | $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$<br>(15 $\Omega \text{cm}$ )   | あり             | ×             | ウェーハ中心部に多く、支持用<br>ウェーハのCOP分布と一致 |
| 比較例2 | $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3$<br>(15 m $\Omega \text{cm}$ ) | ウェーハ中心部<br>にあり | ×             | ウェーハ中心部に多く、支持用<br>ウェーハのCOP分布と一致 |
| 試験例1 | $9 \times 10^{18} / \text{cm}^3$<br>(10 m $\Omega \text{cm}$ ) | なし             | ○             | 特異な分布なし                         |
| 試験例2 | $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$<br>(5 m $\Omega \text{cm}$ )  | なし             | ○             | 特異な分布なし                         |

[0046] 表1から明らかなように、本発明に係る試験例1(ボロン濃度: $9 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )および試験例2(ボロン濃度: $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ )は、いずれも支持用ウェーハの裏面に20mm以上のスリップが発生せず、しかも活性層面内のLPDも特異な分布はない。従来に係る比較例1(ボロン濃度: $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ )および比較例2(ボロン濃度: $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ )に比べて改善されたことが明らかである。

## 請求の範囲

- [1] 活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、  
上記支持用ウェーハには、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンが含有されたSOIウェーハの製造方法。
- [2] 上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離する請求項1に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [3] 上記SOI層の厚みは、 $0.10 \mu\text{m}$ 未満である請求項1に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [4] 上記SOI層の厚みは、 $0.10 \mu\text{m}$ 未満である請求項2に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [5] 上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成する請求項1に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [6] 上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成する請求項2に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [7] 上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成する請求項3に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [8] 上記貼り合わせの前に、上記支持用ウェーハの少なくとも貼り合わせ側の面とは反対側の面に、絶縁膜を形成する請求項4に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [9] 上記貼り合わせの前に、水素ガスを含む還元ガス雰囲気中、上記支持用ウェーハに対して $1100^\circ\text{C}$ 以上のアニール処理を施す請求項1～請求項8のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [10] 活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、  
上記支持用ウェーハには、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンが含有されたSOIウェーハの製造方法。

ーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することにより製造するSOIウェーハであって、

貼り合わされた上記支持用ウェーハには、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンが含有され、

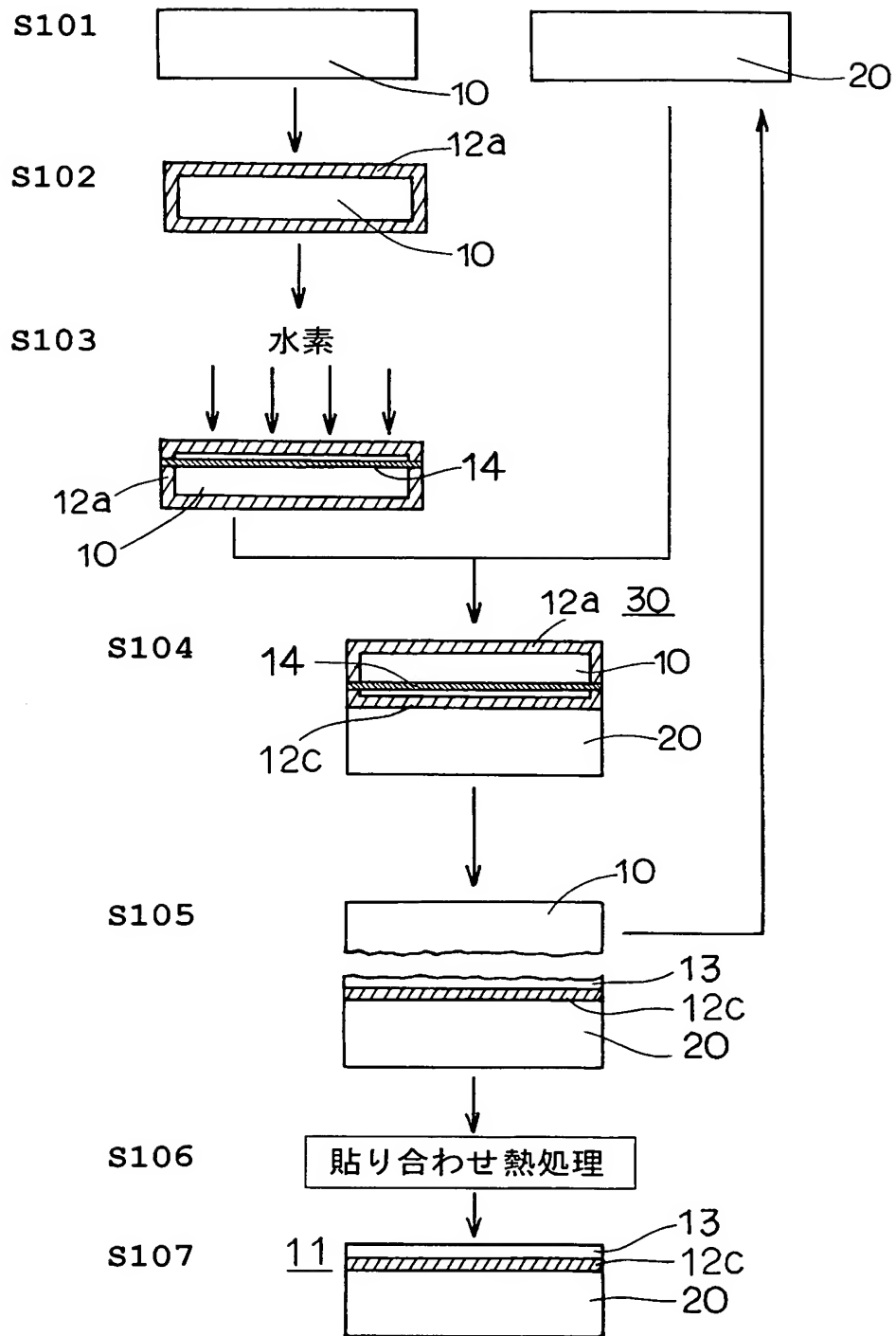
上記SOI層は、厚みが $0.10 \mu\text{m}$ 未満であるSOIウェーハ。



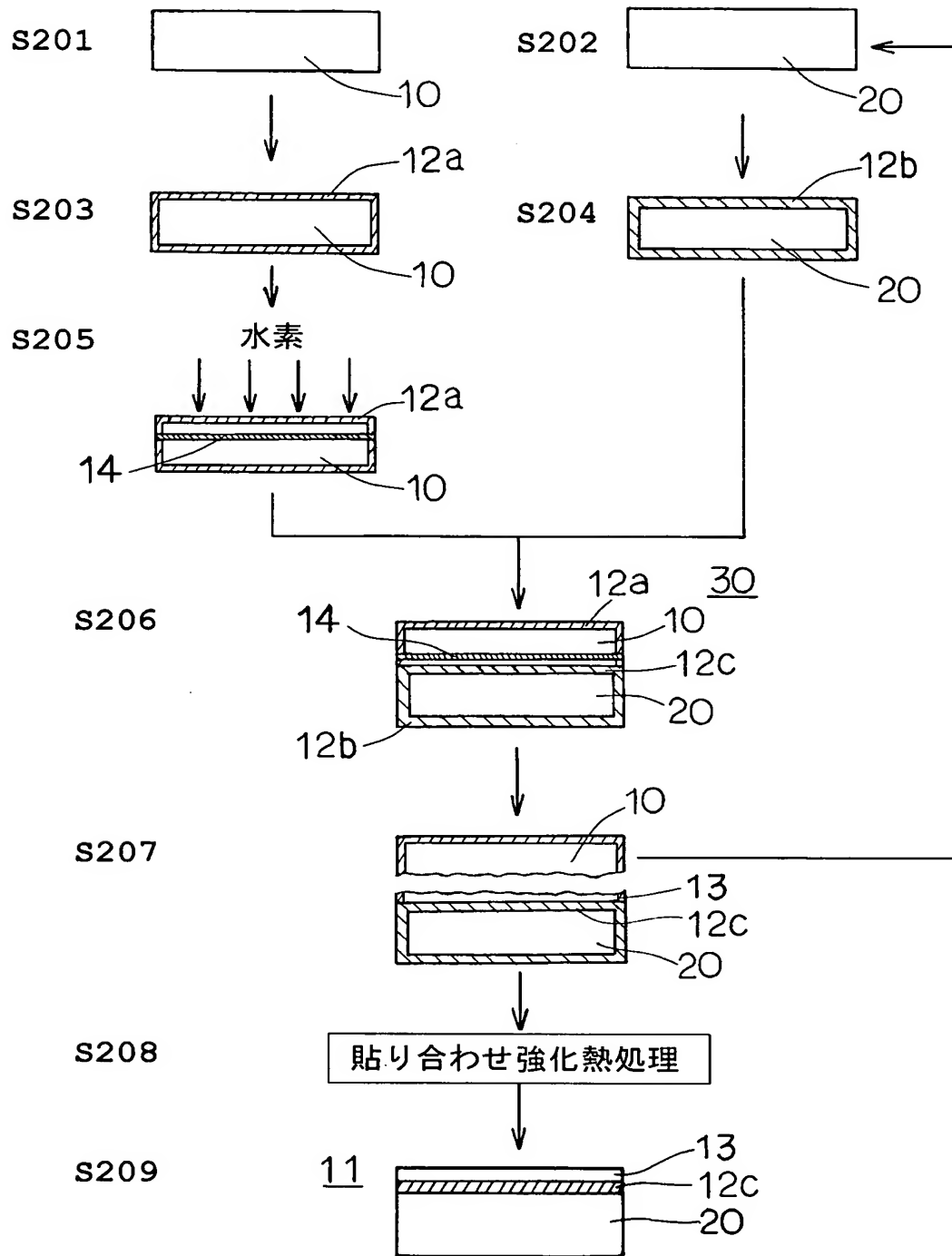
## 要 約 書

支持用ウェーハは $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンを含むので、貼り合わせ熱処理時に活性層用ウェーハ中の一部の金属不純物とウェーハの金属不純物とがボロンに捕獲される。その結果、活性層の金属汚染を低減できる。しかも、ウェーハの強度が高まりウェーハのスリップの発生を防げる。ウェーハにはCOPがないので、活性層のLPD評価時、マイクロボイドを検出せず、評価の信頼性が高まる。さらに、このような貼り合わせウェーハを低コストで製造できる。

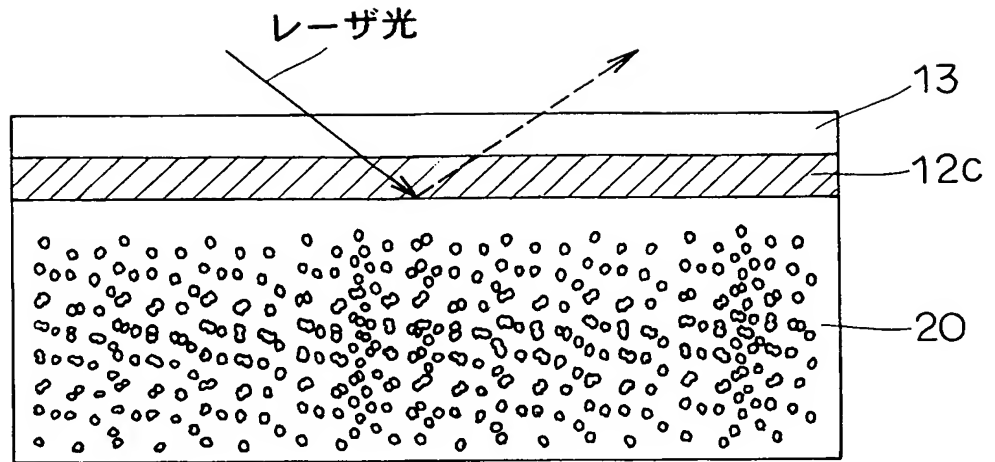
[図1]



[図2]



[図3]



[図4]

